

适于动态虚拟环境的辐射度算法研究

Research on Radiosity for Dynamic Virtual Environment

曲 毅

(淮海工学院计算机系 江苏连云港222005)

Abstract This paper has studied the radiosity algorithms for the dynamic environments based on the radiosity algorithms for static curved surfaces, then proposed the central point method and the awl body crossing method of judging the scenery with crossing shade, discussed at last how to realize the algorithm with the Objectoriented methods.

Keywords Radiosity algorithms, Virtual reality, Form-factors, Ray tracing algorithms

1 引言

辐射度方法就是使用热辐射工程中的辐射度方法来求解环境的光能分布,该方法将组成环境的表面作为一个封闭的系统,并假定封闭环境的表面均为漫反射面,根据能量平衡原理计算每一表面上的能量,从而求出环境中的光能分布。

与光线跟踪算法相比,辐射度方法在模拟全局光照效果方面有了很大的进步,能够产生彩色渗透等照明效果,不但具有无图形混淆优点,还具有与观察者观察位置无关的性质。因此,辐射度方法在虚拟现实环境中有一定的应用潜力。

虚拟现实的核心基础是三维实时计算机图形,但是许多真实感图形绘制算法还不能用于虚拟环境的绘制。辐射度方法是真实感图形生成的重要方法,对于静态环境,辐射度方法是十分出色的,其中室内设计软件 lightscape 已经成功地应用辐射度方法,生成的室内设计效果图较好地描述了全局光照效果。

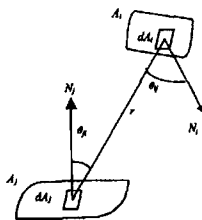
最初的辐射度方法还不能用于复杂曲面环境的绘制,虽然有人提出一些解决方法,如:J. R. wallace 提出的两步法,但是从本质上依旧还是平面辐射度方法;朱一宁提出曲面环境的辐射度算法;George. W. D 等人提出了适合动态环境的重新分布辐射度算法,但是并不适合复杂曲面环境。为此,我们提出了适合包含曲面虚拟环境的动态辐射度方法。

2 平面漫射环境的辐射度方程与曲面环境辐射度方程

2.1 传统的漫反射辐射度方程

传统的辐射度方法通过求解辐射度方程计算出漫射环境光照,只考虑 A_i 和 A_j 之间的相互反射得出相互反射的方程为:

$$\begin{bmatrix} 1-\rho_1 F_{1,1} & -\rho_1 F_{1,2} & \cdots & -\rho_1 F_{1,N} \\ -\rho_2 F_{2,1} & 1-\rho_2 F_{2,2} & \cdots & -\rho_2 F_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\rho_N F_{N,1} & -\rho_N F_{N,2} & \cdots & 1-\rho_N F_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_N \end{bmatrix}$$



离开表面 A_i 的能量求解为:

$$B_i A_i = E_i A_i + \rho_i \sum_{j=1}^N B_j A_j F_{ji}$$

$$F_{ji} = \int_{A_j} (\cos \theta_{ji} \cos \theta_{ij}) / (\pi r^2) dA_j$$

其中, B_i 为面片 i 的辐射度; A_i 为面片 i 的面积; E_i 为单位面积发射的能量;

ρ_i 为面片 i 的反射系数; B_j 为面片 j 的辐射度; A_j 为面片 j 的面积;

F_{ji} 为从面片 j 到面片 i 的形状因子几何(如右图)。

2.2 适合曲面漫射环境的辐射度方程

曲面辐射度算法具有一般性,它通过在辐射度方程中引入双线性插值,将辐射度方程中的未知数转化为由各曲面上顶点处的辐射度,并利用光线跟踪技术将该方法推广至非漫射环境。

考虑到线性插值具有较好的近似效果和计算量,采用双线性曲面片得出辐射度的插值公式如下:

$$B_i(u_i, v_i) = (1-u_i)(1-v_i)B_i(u_{i1}v_{i1}) + u_i(1-v_i)B_i(u_{i2}v_{i2}) + (1-u_i)v_iB_i(u_{i3}v_{i3}) + u_iv_iB_i(u_{i4}v_{i4}) \quad (1)$$

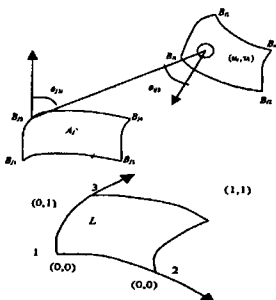
其中: $B_i(u_i, v_i)$ 为下图中 (u_i, v_i) 处的辐射度。

角点 L 处(见下图)的参数值为:

$$u_{i,l} = \begin{cases} 0, & \text{当 } l=1, 3 \text{ 时} \\ l, & \text{当 } l=2, 4 \text{ 时} \end{cases} \quad v_{i,l} = \begin{cases} 0, & \text{当 } l=1, 2 \text{ 时} \\ 1, & \text{当 } l=3, 4 \text{ 时} \end{cases}$$

最终推广的一般辐射度方程为:

$$B(j_L) = \underbrace{E_j + \rho_j \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M B(i_k) F dA_{i-jL,k}}_{\text{直接辐射}} + \underbrace{\rho_j \sum_{i=1}^N [br^{(dA_p)}(dA_i) + bt^{(dA_p)}(dA_i)] F dA_{i-jL}}_{\text{间接辐射}} \quad (2)$$



位于一漫射面片顶点处的小面元的辐射度就是由此式决定的。显然,它由三部分组成,第一部分是它自身辐射的能量,第二部分是由环境面元直接辐射引起的漫射能量,第三部分是环境面元通过镜面和透射面间接传递而引起的能量。第二部分能量可用一般逐步求精方法求得,第三部分能量可用光线跟踪方法求得。

2.3 形状因子的计算

进行能量辐射时,形状因子的计算是关键。传统的方法是采用半立方体算法。由于一般形状因子 $F dA_{i-jL,k}$ 不具有标准形状因子之间那种互换关系,因此不能仅仅在辐射面片上建立一个半立方体来求得辐射面片对各接受面片顶点的形状因子,而需建立很多的半立方体,但这样就失去了逐步求精算法的优点。为了克服这一困难,可以用数值方法来直接计算从辐射面片到各顶点的形状因子。

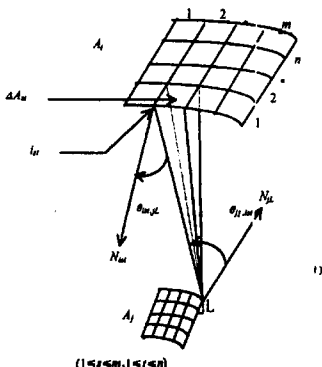
首先将辐射面片划分成 $m \times n$ 个微面元 ΔA_{st} , 于是产生了 $(m+1) \times (n+1)$ 个采样点,则 $F dA_{i-jL,k}$ 可表示成一系列微形状因子(如左图) $\Delta F dA_{st-jL}$ 的和,并有

$$\Delta F dA_{st-jL} = \begin{pmatrix} \Delta F_{i-jL} + \Delta F_{i+1-jL} \\ + \Delta F_{i+1,j+1-jL} + \Delta F_{i,j+1-jL} \end{pmatrix}.$$

$$\Delta A_{st}/4$$

其中:

$$\Delta F_{i-jL} = HID(i, j_L) \cdot \frac{\cos \theta_{ist} - \cos \theta_{jL-ist}}{\pi r_{ist-jL}^2}$$



值得注意的是,一般形状因子的计算,大部分耗费在辐射面片的各采样点和接受面片顶点之间的遮挡函数 HID 的计算上。这里,将采样点与各顶点的连线直接去跟环境中的所有表面对象求交,来测试它们之间是否有遮挡关系。在向静态表面对象辐射时,只需与静态表面对象进行求交。

3. 采用能量辐射法将原有的静态环境辐射度算法改进为动态环境算法

动态虚拟环境是指虚拟环境中的物体可被删除、增加或移动,以及物体可发生几何变形、材料属性发生改变等变化。以前的辐射度算法是在静态环境基础之上的,当场景发生变化时,对整个环境必须进行完全重新计算。这样没利用到前一次计算在当前场景仍保留的大量有用信息,大大降低了图形生成的实时性。当场景只发生细微变化时,这一缺陷显得更为严重。

实际上,场景的任一细微改变都可分解成两个步骤:先将要发生变化的对象从原所在位置删除,然后将发生了变化的对象插入到新位置上。因此,可采用如下算法对动态曲面环境按照式(1)进行辐射度求解(包括正辐射和负辐射),当场景发生变化时,以快速获得变化了的场景的正确的光能分布:

(1) 对前一时刻受动态对象影响的局部场景进行正辐射,调用式(2)计算正辐射;

(2) 对动态对象重新进行辐射;

(3) 对当前时刻受动态对象影响的局部场景进行负辐射,调用式(2)计算负辐射。

显然,上述算法是假定动态对象为非光源和非镜面(即不会被当作辐射源面等)。动态对象为光源

或镜面(即会被当作辐射源面片),当场景发生变化时,则上述算法变为:

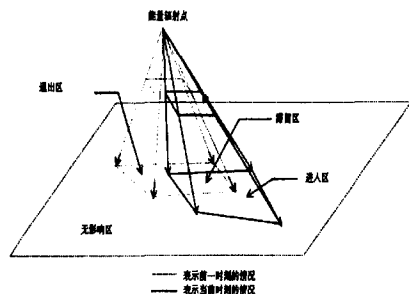
(1)在前一时刻将动态对象对场景进行负辐射,调用公式(2)计算正辐射;

(2)在当前时刻将动态对象对场景进行正辐射,调用公式(2)计算负辐射。

4. 利用对象空间的时间连贯性进一步改进动态算法

利用辐射度求解的能量辐射法和对象空间的时间连贯性,将静态环境辐射度算法改进为动态算法。

在现实中,在各时刻间场景的改变往往是很细微的,这便是所谓的对象空间的时间连贯性。动态环境中往往只有少数的物体是动态的,其它绝大部分物体都是静态的。前面的算法并没有利用对象空间的时间连贯性,夸大了细微的场景变化,因此,正辐射操作及负辐射操作中的许多计算是重复的,如下图所示,只有对进入区和退出区的操作才是必需的,而对其他区的操作是多余的。另一方面,针对当前计算机内存技术的发展,一般已不存在内存不足问题,且场景中的动态对象往往是极少数的,因此,可考虑将由动态对象引起的 ΔB 预先保存下来,当该影响消除后,再给予恢复。所以对退出区只需进行恢复操作,而不必进行正辐射操作;对滞留区不必进行操作;对进入区进行负辐射操作。



在动态环境中,任一面片均处于以下二种状态之一:受动态对象影响和不受动态对象影响。利用对象空间的时间连贯性,则可将上面的算法改进为:

当场景发生变化时:

(1)对脱离动态对象影响状态的局部场景(即退出区)进行恢复操作;

(2)对仍受动态对象影响状态的局部场景(即滞留区)不必进行任何操作;

(3)对动态对象重新进行辐射。

(4)对进入动态对象影响状态的局部场景(即进入区)进行负辐射操作,并对 ΔB 给予保存。

算法经改进后,仍需进行三种操作,但计算量却

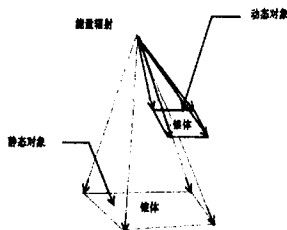
大大减少了(不过,这是以增加内存开销为代价的)。

将退出区、滞留区、进入区、无影响区的含义进行拓展。则各区可由辐射面片和动态对象集来定义。当内存足够时,动态对象集越大,且各动态对象距离较近时,该算法的优点就越明显,它大大减少了每次更新时需计算的形状因子数(辐射度方法中,形状因子的计算量占总计算量的90%以上)。该算法具有极大的应用潜力和应用范围。由于在辐射度方法中,物体是用面进行定义的,如一把椅子,是用许多面进行定义的。当移动椅子时,只要仍处于滞留区的面片,则均无需进行操作。而该面片也许是脱离了该桌子某个表面的滞留区,但仍处于另一表面的滞留区;或在某表面的进入区,而该进入区又处于另一表面的滞留区。因此,在复杂的动态环境中,对处于某进入区的面片可能不必进行负辐射操作,而对处于某退出区的面片可能不必进行恢复操作。

5. 动态曲面环境辐射度算法的关键——阴影区判断

这里介绍两种方法解决阴影区判断问题,即锥体求交法和中心点连线求交法,从而使得动态环境辐射度算法的实现成为可行。

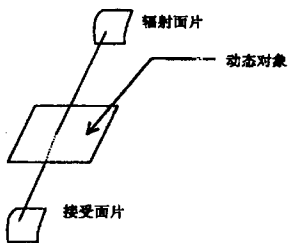
辐射度方法中,形状因子的计算量很大,因此,当场景发生变化后,如何缩减需重新进行计算的形状因子数是相当重要的。该问题可通过如下途径进行解决:首先,采用包围盒的思想,判断静态对象是否全部处于动态对象的阴影区。该判断可通过锥体求交法进行判断。如下图所示,能量辐射点与动态对象和静态对象分别构成了一个锥体,当静态对象为动态对象部分或全部不可见且两锥体相交时,静态对象部分或全部处于动态对象的阴影区。



然后,当判断为静态对象部分或全部处于动态对象的阴影区中时,则进行负辐射。在进行负辐射时,将接受面片的中心点与辐射面片的中心点连线,直接将该连线与动态对象进行求交,若有交点,则处于阴影区,否则不处于阴影区。我们称这种方法为中心点连线求交法,如下图。

中心点连线求交法具有通用性,对各种类型的面片均适用。在进行阴影区判断时,该方法是必需

的。锥体求交法也具有通用性,但对不同的对象及其不同组合,在具体实现时又具有许多的不同,需要一定的技巧。在进行阴影区判断时,锥体求交法并不是必需的,但是,当大多数静态对象的面片划分为细致时(即面片数较大时),锥体求交法显然可大大加速阴影判断。

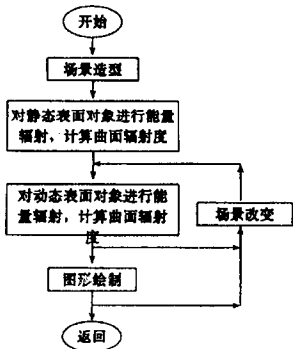


6. 动态辐射度的算法设计

欲实现上述的动态辐射度算法,需将它与具体的辐射度算法结合起来。如将上述动态辐射度算法与曲面辐射度算法结合起来,将曲面辐射度算法改进为适于动态环境的。

可以采用面向对象的方法进行分析设计。场景造型有不同的造型方法,造型方法的选择直接关系到辐射度算法的具体实现。为便于实现曲面辐射度算法,可以通过面的定义来进行场景造型。其中,场景中所有的对象都是由面来定义的,因此,先定义好类及其方法,如定义基本类——表面类,该类为抽象类。从表面类出发,可派生出平面类、球面类、锥面类、柱面类、二次曲线旋转面类等。从各派生类又分别派生出相应的动态面类。此外,为了便于程序的实现,还可定义颜色类、向量类、矩阵类及各自的运算,定义了点类及其派生的顶点类,基本面片类及其派生的面片类。

算法的主体流程如下图所示。



采用面向对象的思想对场景进行组织后,程序中的操作单位由传统的面片转变为表面。这样有如下几个优点:一、便于集中考虑场景中最重要面片。场景中光能分布的决定因素是光源和镜面。因此,在采用逐步求精进行求解的过程中,不是每次选取具有最大待辐射能量的面片进行辐射,而是选取光源表面和镜面表面的面片进行辐射。这样克服了传统做法每次需选取最大待辐射能量的面片所需的时间开销。二、便于应用包围盒的思想。在选好了面片进行能量辐射前,先判断接受辐射的表面对辐射面片的可见性,只有接受辐射的表面的部分或全部为可见时,才进一步将辐射面片向接受辐射的表面的所有面片进行辐射。这实际上正是应用了包围盒的思想,从而加速了算法执行速度。

结论和展望 本文从算法的理论和设计上证明了算法的可行性,提出了曲面环境的动态辐射度算法的框架。将曲面环境的动态辐射度方法应用在 VR 环境,尤其是应用于室内设计将是今后的重要工作,对于实际 VR 仿真,可以考虑用 ALIAS 软件建立室内景物中的曲面造型,对于一般模型采用 AutoCAD 建立三维模型,然后 Multigen VR 建模软件调用,由于模型非常复杂,必须采取简化措施,具体方法有:

(1)对 ALIAS 复杂模型或 AutoCAD 表面进行绘制,生成逼真图像,然后作为纹理在 Multigen 中对简化的几何模型贴图。

(2)采用 ALIAS LINK 软件简化几何模型,然后在实时仿真软件编程中使用动态辐射度算法。

此外,采用复杂 NUBRS 曲面也可对动态辐射度算法进行改进。动态辐射度算法对虚拟环境建模的应用有很大潜力,可能成为绘制商品化建筑漫游软件模型的一个成熟可靠的绘制算法,当然还需要许多艰苦的努力。

参考文献

- 1 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础. 北京: 科学出版社, 1999
- 2 George W D, Sillion X f, Greenberg P. Radiosity redistribution for dynamic environment. IEEE Computer Graphics and Application, July 1990
- 3 杨宝民, 朱一宁. 分布式虚拟现实技术及其应用. 北京: 科学出版社, 2000
- 4 马向英, 杜威, 袁晓君, 李华. 基于图像的室内虚拟漫游系统. 中国图像图形学报, 2001, 6(1)